

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroniky a telekomunikační techniky**

## **Svařování atypických optických vláken**

Fusion splicing of atypical optical fibers

**2010**

**Ondřej Zbořil**

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Datum:

Podpis:

**Poděkování:**

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce, prof. RNDr. Vladimíru Vašínkovi, CSc. za jeho vedení a příležitost pracovat s použitým zařízením. Dále bych chtěl poděkovat doktorandům na katedře za jejich ochotu s výpomocí.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce seznámí čtenáře s tematikou optických vláken a jejich svařování. Optická vlákna se neustále více využívají v telekomunikacích, jelikož dosahují nízkého útlumu oproti kabelům metalickým, ale především umožňují mnohonásobně větší přenosové rychlosti, jsou imunní vůči elektromagnetickému rušení a odposlechu. První část práce vysvětlí funkci optických vláken, popíše jejich vlastnosti a rozdělení. Další část je zaměřena na ztráty v optickém vlákne a metody měření těchto ztrát. Poslední teoretická část se věnuje samotnému svařování optických vláken a následné metody zjištění útlumu na sváru. Po třech teoretických částech následuje část věnující se výsledkům a poznatkům z měření. Celá práce je zakončena závěrem, v němž jsou shrnuty výsledky a nejpodstatnější poznatky zjištěné během měření.

## **Klíčová slova**

Optické vlákno, svářečka optických vláken, jádro, plášť, útlum, ztráty

## **Abstract**

This Bachelor thesis introduces the topic of Optical Fibre and their Fusion splicing. Optical Fibres are becoming more and more useful in telecommunications nowadays, because they reach lower attenuation in comparison to the metal wires, but mainly, they provide much higher bandwidths. They are also immune to the electromagnetic interference and unable to overhear. First part of this thesis explains the function of optical fibres, describes their characteristics and their division. Next part focuses on the losses in the optical fibre and methods of measuring these losses. Last theoretical part is dealing with the fusion splicing of optical fibres and methods of findings the loss on the splice. After these three theoretical parts, there is a part focusing on the results and findings from measuring. The whole work ends with a conclusion, containing the results and most valuable observations which have been found during the measuring.

## Key Words

Optical Fiber, Fusion Splicer, Core, Cladding, Attenuation, loss

## Seznam použitých symbolů a zkratek

$n$	index lomu
NA	numerická apertura
$\alpha$	úhel šíření
$\alpha_m$	mezní úhel šíření
$i$	úhel přiváděného optického paprsku
$i_m$	mezní úhel akceptance
$\theta$	příjmový úhel
$\lambda$	vlnová délka
SI	skokový index lomu [step-index]
GI	gradientní index lomu [gradient-index]
SM	jednovidové vlákno [single mode]
MM	mnohovidové vlákno [multi mode]

## Obsah

1.	Úvod .....	1
2.	Optická vlákna .....	2
2.1.	Úvod .....	2
2.2.	Charakteristika a princip optických vláken .....	3
2.3.	Numerická apertura optických vláken .....	6
2.4.	Druhy optických vláken .....	7
3.	Ztráty na optických vláknech .....	9
3.1.	Disperze.....	9
3.2.	Útlum optických vláken.....	10
3.3.	Metody měření útlumu na optických vláknech .....	11
3.3.1.	Metoda dvou délek .....	11
3.3.2.	Metoda vložných ztrát .....	12
3.3.3.	Metoda substituční .....	13
3.3.4.	Metoda zpětného rozptylu (OTDR) .....	14
4.	Svařování optických vláken .....	16
4.1.	Metody spojování optických vláken.....	16
4.2.	Princip svařování optických vláken .....	16
4.3.	Měření útlumu na svaru.....	17
4.3.1.	Vyhodnocení útlumu sváru pomocí svářečky .....	18
4.3.2.	Metoda zpětného rozptylu (OTDR) .....	20
5.	Výsledky měření .....	22
5.1.	Postup měření .....	22
5.2.	Nastavení svářečky.....	24

5.3.	Tabulky s výsledky .....	26
5.3.1.	Legenda k tabulkám s výsledky: .....	26
5.3.2.	Tabulky s výsledky .....	27
5.3.3.	Histogramy .....	29
6.	Zhodnocení a závěr .....	30
	Odkazy a literatura .....	31
	Seznam příloh .....	31

# 1. Úvod

Telekomunikace jsou neustále se rozvíjející oblast, zabývající se předáváním informací na dálku. Lidé se neustále snaží zdokonalovat sdělovací techniku, ať už jde o lepší zdroje elektromagnetických vln, dokonalejší modulaci signálu nebo vhodnější přenosové médium.

V telekomunikační technice, stejně jako ve většině odvětví lidské činnosti platí, že čím lepší a výkonnější je daný produkt nebo postup, tím je jeho zdokonalování obtížnější. Rozvoj optické komunikační techniky znamenal obrovské navýšení přenosových rychlostí a to zejména díky vysokým kmitočetům, které jsou využívány optickými systémy. Současně s vývojem optických vláken se v posledních letech výrazně zlepšily parametry zdrojů a detektorů optického záření, rozšířila se i nabídka nejrůznějších optických prvků jako jsou modulátory, multi a demultiplexory, vazební členy, vláknové zesilovače atp. Na trhu je nabízeno velké množství nejrůznějších přístrojů a pomůcek pro práci s optickými telekomunikačními systémy, popř. jejich výstavbu. Objevují se různé druhy atypických vláken, které nelze svařovat standardními metodami, jelikož takovéto svary mají velký útlum a také jsou k dispozici svářečky optických vláken se širokou možností nastavení právě pro takováto atypická vlákna.

Tato bakalářská práce se zabývá svařováním standardního vlákna a vzorku atypického vlákna z Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd. Svařování probíhá na svářečce optických vláken Fujikura FSM-45PM. Úkolem této práce je popsání principu svařování optických vláken a nalézt ideální nastavení svářečky pro dosažení svarů s co nejmenším útlumem. V první části práce jsou popsána optická vlákna, princip jejich funkce a jejich rozdělení. Dále se práce věnuje ztrátám optického výkonu a metodám měření útlumu na optických vláknech. Další kapitola je zaměřena na svařování optických vláken, jeho princip a útlum na svaru. Následující kapitola popisuje výsledky měření praktické části a vše je pak shrnuto a popsáno v závěrečné části práce.

## 2. Optická vlákna

### 2.1. Úvod

V roce 1966 pracovníci britské firmy „Standart Telecommunication Laboratory“ předpověděli, že velké ztráty na optických vláknech jsou zapříčiněny nečistotami. Tehdy dosahovala nejčistější skla používaná v optice útlumu kolem  $1000 \text{ dB}\cdot\text{km}^{-1}$ , což je prakticky nepoužitelné. Americká firma „Corning Glass Works“ v roce 1970 vyvinula způsob produkce nízkoútlumových optických vláken. První použitelná optická vlákna měla útlum  $20 \text{ dB}\cdot\text{km}^{-1}$  a ten se nadále zmenšoval až k dnešním  $0,2 \text{ dB}\cdot\text{km}^{-1}$ . V roce 1977 se podařilo zprovoznit první komerčně využívaný optický telekomunikační spoj [1].

Průměr takového vlákna bývá v řádu desítek a stovek mikrometrů. Jedno nebo více vláken bývá součástí optického kabelu. Pokud se např. při vytváření sítí v budově použijí optická vlákna, ušetří se tím mnoho prostoru v kabelovém vedení, jelikož jedno optické vlákno má mnohonásobně větší přenosovou rychlost, než jakých je možno dosáhnout na metalickém vedení [2].

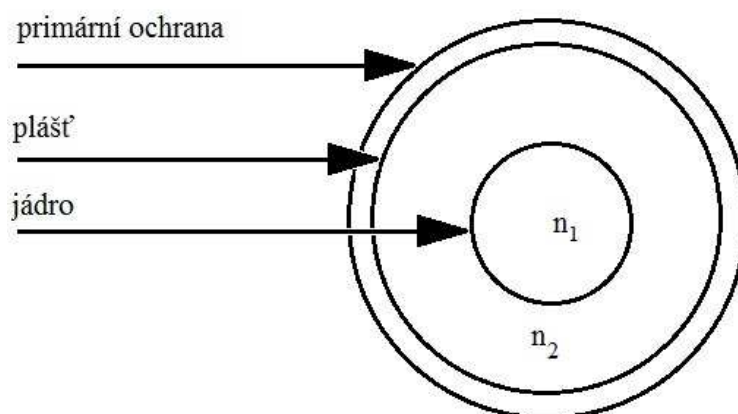
Vláknové vlnovody jsou zároveň součástí optického komunikačního systému, která nejvíce ovlivní jeho parametry. Optická vlákna společně s dalšími součástkami slouží k vybudování kabelové trasy, která tvoří optickou kabelovou síť. Optická kabelová trasa je na obou koncích opatřena konektory, pomocí kterých je připojena na další komunikační zařízení, ať už je to optický zdroj, fotodetektor nebo jiný komunikační systém. Analýza šíření signálu skrze vlákno je mnohem složitější, než je tomu u metalických vlnovodů [2].

I přes veškeré úspěchy optických komunikací, které zatím přinesly, má tato technologie své plné využití teprve před sebou. Optické sdělovací systémy jsou propojeny s pomalými elektronickými sdělovacími systémy a tím je potenciál této technologie degradován. K plnému využití dojde v okamžiku, kdy budou současné metalické sítě plně nahrazeny optickými systémy – tomuto problému se říká „elektronová bariéra“ [1].



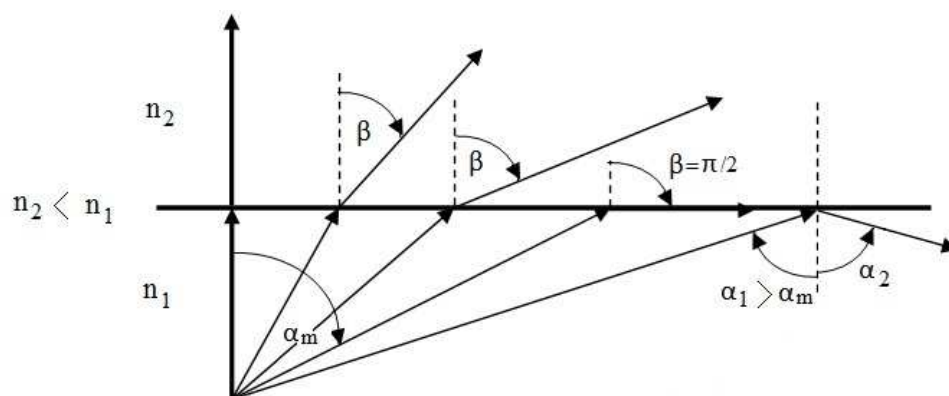
## 2.2. Charakteristika a princip optických vláken

Optické vlákno je dielektrický vlnovod šířící elektromagnetické vlny ve směru osy vlákna. Tyto vlnovody jsou jako jediné vhodné k přenosu optického signálu na větší vzdálenosti. Používají se místo metalických vodičů kvůli jejich menším ztrátám na větší vzdálenosti, a také jsou imunní vůči elektromagnetickému rušení. Optické vlákno bývá nejčastěji tvořeno jádrem, které je obaleno pláštěm a případně i primární ochrannou vrstvou, jak je zobrazeno na obr. 2.1 [2].



Obr. 2.1: Struktura optického vlákna [2,3]

Princip funkce optického vlákna je založen na úplném vnitřním odrazu optického signálu na rozhraní dvou optických prostředí s rozdílným indexem lomu. Pokud světlo pohybující se v opticky hustém prostředí dopadne na rozhraní pod šikmým úhlem, bude odraženo zpět. Tímto je světelný paprsek udržen uvnitř vlákna. Hodnota indexu lomu daného prostředí udává vliv prostředí na rychlost světla v něm se pohybujícím. Index lomu jádra  $n_1$  musí být větší než index lomu pláště  $n_2$ , aby se paprsek z vlákna nevyvážal. Čím je hodnota indexu lomu větší, tím pomaleji se světlo pohybuje v daném prostředí. Světlo se pohybuje nejrychleji ve vakuu, to má index lomu 1. Lom světla je znázorněn na obrázku 2.2 [1,3,4].



Obr. 2.2: Lom světla [3]

Paprsek dopadající na rozhraní s opticky řidším prostředím se chová následovně:

- Pokud je úhel dopadu vzhledem ke kolmici rozhraní malý, paprsek projde rozhraním do optického prostředí  $n_2$  a láme se od kolmice roviny dopadu. Odraz může být jen částečný a část paprsku se vrací zpět do opticky hustějšího prostředí  $n_1$  [3].
- Při dosažení mezního úhlu  $\alpha_m$  již nedochází k šíření v prostředí  $n_2$ . Pokud  $\alpha_1 = \alpha_m$ , pak po odrazu se paprsek šíří na rozhraní  $n_1$  a  $n_2$ . Výpočet mezního úhlu se provádí podle vzorce (1) [3].

$$\sin \alpha_m = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

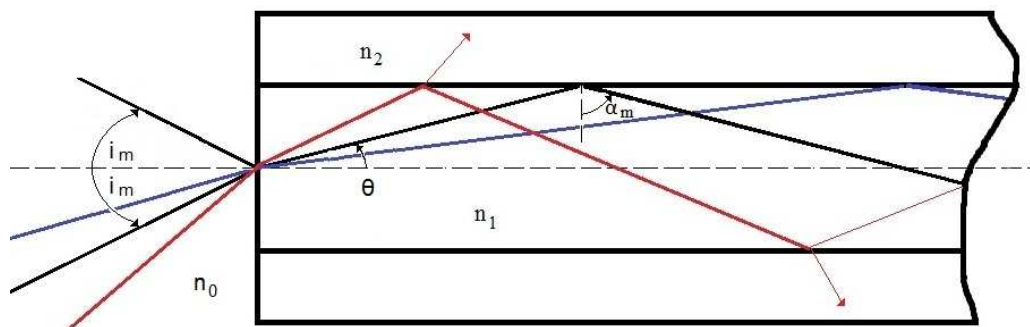
Výpočet sinu mezního úhlu [3]

- Pokud je úhel dopadajícího paprsku  $\alpha_1$  větší než mezní úhel  $\alpha_m$ , je téměř celá energie paprsku odražena pod úhlem  $\alpha_2$  zpět do původního optického prostředí  $n_1$ . Tento případ je využíván pro přenos signálu optickými vlákny a je popsán Snellovým zákonem (2) [3].

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

Snellův zákon [2]

Mezní úhel akceptance  $i_m$  vymezuje na vstupu optického vlákna vstupní kužel, ve kterém musí dopadat paprsek, aby byl vláknem úspěšně zachycen a veden. Navázání světelného paprsku do optického vlákna je znázorněno na obr. 2.3 a popsáno upraveným Snellovým zákonem (3). Je to velmi důležitý parametr optického vlákna, na kterém závisí způsob propojování prvků optického komunikačního systému [1,2,3].



Obr. 2.3: Navázání světelného paprsku do optického vlákna [3]

$$\frac{\sin i}{\sin \theta} = \frac{n_1}{n_0} \quad (3)$$

Pro rozhraní vnějšího prostředí a jádra vlákna [1]

- Je-li světelný paprsek do optického vlákna přiváděn pod úhlem menším jako je mezní akceptační úhel  $i_m$ , je splněna podmínka  $\alpha_1 > \alpha_m$  pro navázání paprsku do vlákna a ten se dále na rozhraní jádra a pláště odráží zpět do jádra po celé délce optického vlákna, kde se uplatňuje princip totálního odrazu (4) [2,3,4].

$$\sin \alpha (= \cos \theta) > \frac{n_2}{n_1} \quad (4)$$

Uvnitř vlákna při totálním odrazu [3]

- Pokud je paprsek přiváděn pod větším úhlem nežli je mezní akceptační úhel  $i_m$ , je  $\alpha_1 < \alpha_m$  a paprsek s každým odrazem na rozhraní jádra a pláště ztrácí část energie, která projde pláštěm [2,3,4].

### 2.3. Numerická apertura optických vláken

Jedná se o parametr optického vlákna, jenž je udán vzorcem (5) a značí se NA. Není to vyloženě přenosový parametr, ale umožňuje nám udělat si přehled o možnostech navázání světelného paprsku do optického vlákna a zjistit charakteristiku buzení tohoto vlákna. Je udána přímo výrobcem vlákna, jelikož závisí na indexech lomu jádra a pláště vlnovodu. Numerická apertura vymezuje vstupní kužel na vstupu optického vlákna a u toho vychází se sinu příjmového úhlu  $\theta_0$  [1,2].

$$NA = \sin \theta_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (5)$$

Uvnitř vlákna při totálním odrazu [1]

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (6)$$

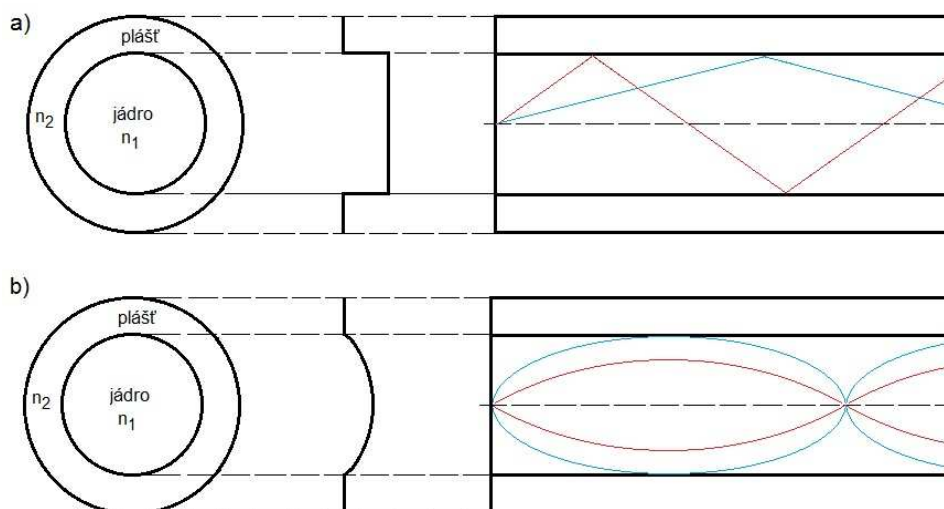
Poměrný rozdíl indexů lomu [2]

## 2.4. Druhy optických vláken

Z pohledu pracovního režimu můžeme optická vlákna rozdělit na jednovidová a mnohovidová.

- Jednovidová optická vlákna se používají především na širokopásmové dálkové přenosy, kde se uplatní jejich vysoké přenosové rychlosti. Jsou schopné překonat až 100 km vzdálenosti bez použití opakovače. Jejich použití je nákladnější, především kvůli drahým optickým zdrojům. Mívají daleko menší průměr jádra než vlákna mnohovidová (řádově jednotky mikrometrů) [1,2].
- U mnohovidových optických vláken zpravidla předpokládáme současné šíření více vidů. Hlavním faktorem omezujícím přenosové možnosti je disperze, u mnohovidových vlnovodů zvláště pak disperze vidová, která má za následek rozdílné rychlosti šíření jednotlivých vidů ve vlákne. Využívají se především při budování optické trasy uvnitř budovy popř. areálu [1,2].

Mezi základní parametry optických vláken patří jeho přenosové vlastnosti, které jsou pak zásadně ovlivněny disperzí a útlumem. Tyto přenosové vlastnosti vláknových vlnovodů můžeme do značné míry ovlivňovat jejich konstrukčními parametry. Hlavními konstrukčními parametry optických vláken jsou jejich příčné rozměry a rozložení indexu lomu materiálu průřezem. Bylo vytvořeno mnoho druhů vláknových vlnovodů s nejrůznějšími přenosovými vlastnostmi. Obecně je můžeme rozdělit na vlákna tvořena jednou či více vrstvami homogenního dielektrika a na vlákna s plynule proměnným indexem lomu. Prvně zmíněný, starší, typ se nazývá optický vláknový vlnovod se skokovou změnou indexu lomu a bývá označován SI (step – index). Druhý typ vláken má oblast jádra nehomogenní se závislostí indexu lomu blízkou parabolické. Je označován jako optický vlnovod spojitě proměnným indexem lomu, též vlnovod gradientní, označen jako GI (gradient – index). Jejich profily jsou zobrazeny na obrázku 2.4 [1,2].



Obr. 2.4: Profil vláken [3,4]:

a) se skokovým indexem lomu; b) gradientním indexem lomu

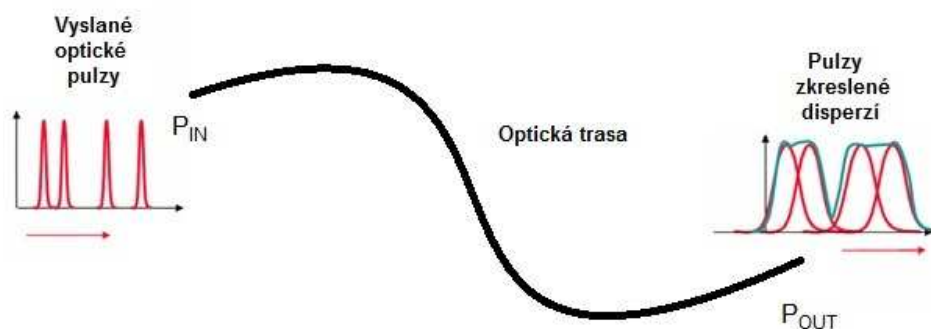
Oba tyto základní typy vlnovodů se od sebe liší mimo jiné mechanismem šíření energie. U SI vlnovodů se energie šíří pomocí odrazu na rozhraní jádro-plášť, u GI vláken je to pak zakřivená trajektorie optických paprsků. Výroba gradientních vláken je technologicky i finančně náročnější, ale GI vlákna zásadně potlačují vidovou disperzi [1].

Dále se vlákna dělí a třídí podle mnoha parametrů jako geometrické rozměry, složení materiálu atp. Standardně se optických systémech využívá křemenné optické vlákno, pro menší vzdálenosti potom stačí plastové. Dále je zde řada atypických vláken s různým složením a provedením, která se mohou lišit rozdílnými vlastnostmi, využitím a samozřejmě i cenou [1,4].

### 3. Ztráty na optických vláknech

#### 3.1. Disperze

Disperze je jev, který zapříčiňuje zkreslení přenášeného signálu jeho časovým rozšířením, omezuje maximální možnou přenosovou rychlost, tedy nejmenší možnou vzdálenost mezi jednotlivými pulzy. Disperzní vlivy tedy určují mezní frekvenci signálu, který lze vlákem přenést bez jeho deformace. Nedochází k úbytku energie, ale k jejímu rozkladu. Vliv disperze je znázorněn na obrázku 3.1 [1,2].



Obr. 3.1: Vliv disperze na přenášený signál [3]

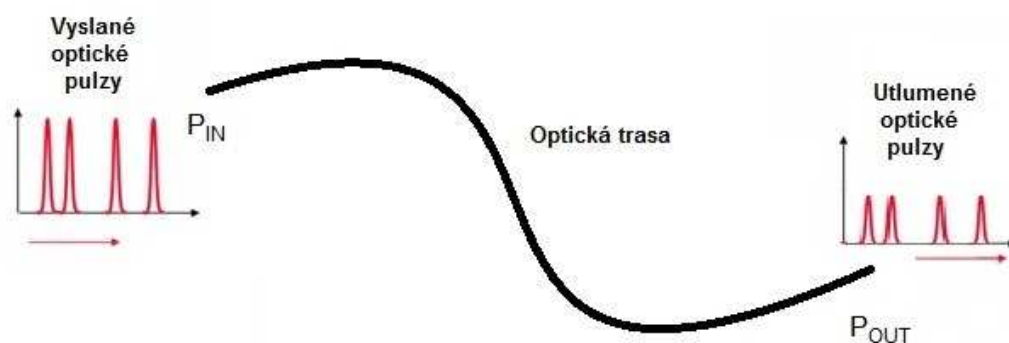
Projevují se tyto druhy disperze:

- Materiálová disperze – Sklo použité na výrobu vlákna má index lomu závislý na vlnové délce. Z tohoto důvodu jsou jednotlivé spektrální složky přenášeného signálu šířeny různými skupinovými rychlostmi [1,2].
- Vidová disperze – Převažuje u mnohavidových vláken. Jednotlivé vidy se šíří různými trasami, čas potřebný k překonání délky vlákna je různý a tím se rozšiřují pulzy. Lze potlačit užitím jednovidových popř. gradientních vláken v optické trase [1,2].

- Chromatická disperze - Disperze se výrazně projevuje při lomu světla, kdy se jednotlivé barevné složky světla šíří různými rychlostmi v daném prostředí a zpoždění impulzů deformuje výsledný tvar signálu. Optické vlastnosti látky jsou charakterizované indexem lomu, který je závislý na vlnové délce [1,2].

### 3.2. Útlum optických vláken

Na každé součástce, zapojené v optické trase, včetně samotného vlákna, vznikají ztráty optického výkonu. Útlum je hodnota těchto ztrát, vyjadřuje se v decibelech a vypočítá se dle vzorce (7). Zpravidla bývá frekvenčně závislý. Útlum signálu způsobuje pokles amplitudy, v podstatě je to rozdíl mezi optickým výkonem do optického vlákna přivedeného a výkonem vystupujícím z vlákna. Vliv útlumu na signál je znázorněn obrázkem 3.2. Kvalita vlákna a útlum jsou ovlivněny použitým materiálem při výrobě, záleží na jeho čistotě [1,2].



Obr. 3.2: Vliv útlumu na přenášený signál [3]

$$A(\lambda) = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_0} \text{ [dB, W]} \quad (7)$$

Útlum pro optický výkon měřený ve watech [2]

$$A(\lambda) = P_0 - P_1 \text{ [dB, dBm]} \quad (8)$$

Útlum pro optický výkon měřený v jednotkách dBm [2]



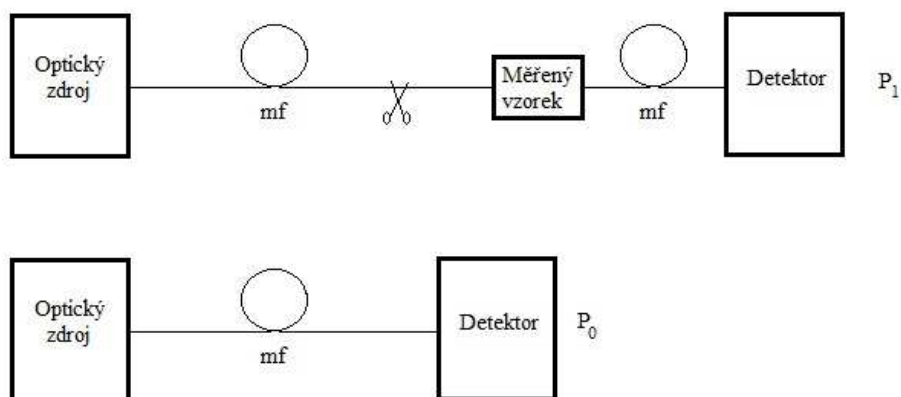
### 3.3. Metody měření útlumu na optických vláknech

Metody měření útlumu na optických vláknech dělíme do dvou skupin:

- První skupinu tvoří metody používající přímého měření ztrát optického výkonu při jeho průchodu testovaným vzorkem. Tyto přímé (transmisní) metody měření v jednom kroku měří optický výkon  $P_1$  se zapojeným měřeným vzorkem, ve druhém kroku se vzorek vyjme z optické trasy a změří se referenční optický výkon  $P_0$ . Útlum se následně dopočítá dle vzorce (7) [2].
- Druhou skupinu představuje metoda zpětného rozptylu, kde útlum vyhodnocován dle analýzy zpětného rozptylu [2].

#### 3.3.1. Metoda dvou délek

Metoda dvou délek se uvádí jako nejpřesnější metoda měření útlumu, ale je destruktivní. Schéma na obrázku 3.3 představuje postup měření. Po zapojení optické soustavy a navázání optického signálu do ní, se změří výstupní výkon  $P_1$ . Po té co se změří výstupní výkon, se vlákno přeřízne před měřeným vzorkem a při zachování stejných podmínek, se změří výstupní výkon  $P_0$  [2].

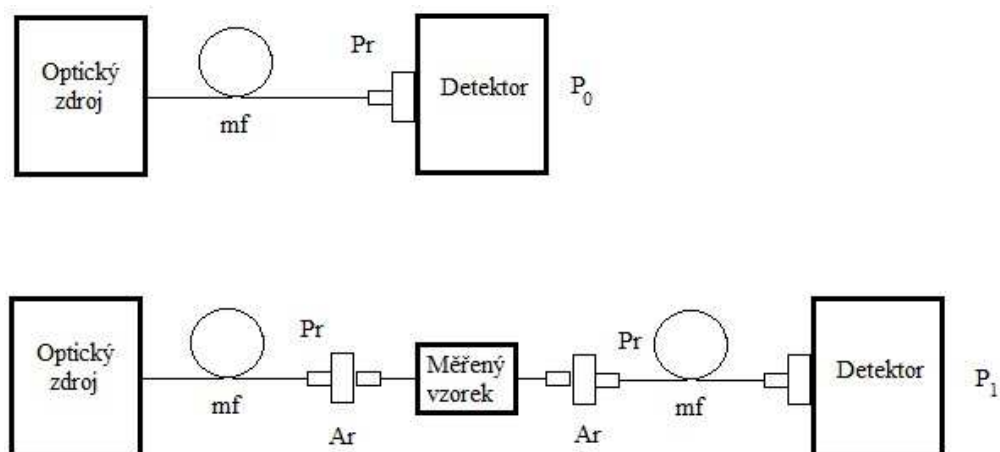


Obr. 3.3: Schéma měření metodou dvou délek [2]

Měření jednovidových pasivních součástek se provádí s vidovým filtrem (mf – mode filter), který se umístí před měřený úsek a před fotodetektor. Vidový filtr má za úkol odstranit z jádra optického vlákna pro nás nežádoucí výkon, který není nesen základním videm [2].

### 3.3.2. Metoda vložených ztrát

Metoda vložených ztrát se obvykle používá pro změření útlumu na pasivních součástkách opatřených konektory. Přesnost této nedestruktivní metody omezují právě konektory. Schéma na obrázku 3.4 představuje postup měření. Nejprve se musí změřit referenční hodnota výkonu  $P_0$ . Následně je připojen měřený vzorek, za kterým můžeme naměřit  $P_1$  [2].

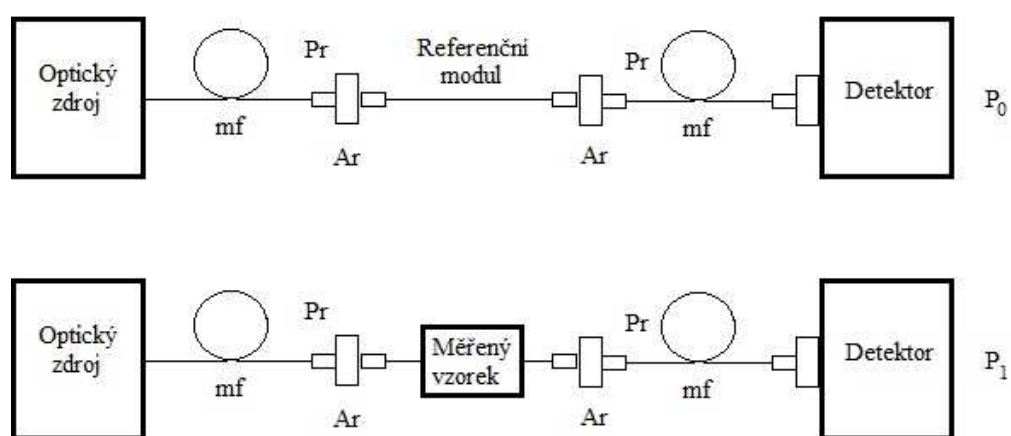


Obr. 3.4: Schéma měření metodou vložených ztrát [2]

Musí být použity měřicí spojky (Ar – reference Adapter) a měřicí spojovací moduly (Pr – reference Plug), jejichž útlum bude připočítán k útlumu měřené součástky. Tyto referenční součástky musí být vhodně zvoleny, měl by být použit stejný typ vlákna a odpovídající konektory, abychom se vyhnuli případným přídavným ztrátám způsobených rozdílnými vazebními ztrátami [2].

### 3.3.3. Metoda substituční

Metoda substituční slouží jako alternativa k metodě dvou délek. Je méně přesná, ale za to není destrukční. Schéma na obrázku 3.5 představuje postup měření. Při použití této metody nejprve použijeme speciální referenční spojovací modul (substitute jumper) a změříme hodnotu výkonu  $P_0$  [2].

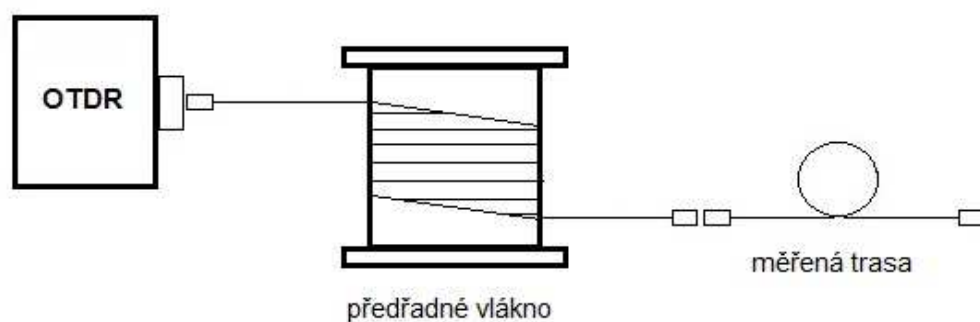


Obr. 3.5: Schéma měření metodou substituční [2]

Aby bylo dosaženo přesných výsledků při použití této metody, je nutno zvolit správný referenční spojovací modul. Modul by měl mít stejný typ vlákna a odpovídající kvalitní konektory jako měřený vzorek. Útlum měřících konektorů se u této metody nezapočítává do změřeného útlumu na součástce, na rozdíl od předchozí metody [2].

### 3.3.4. Metoda zpětného rozptylu (OTDR)

Metoda zpětného rozptylu je alternativní metoda měření útlumu založená na vyhodnocování křivky zpětného rozptylu. Používáno především při budování optických tras s jednovidovým vláknem. Schéma na obrázku 3.6 představuje postup měření. Při měření je doporučeno používat předřadné vlákno stejného typu jako v měřené trase. Jeden konec předřadného vlákna se připojí na měřenou optickou trasu a druhý konec na OTDR. Nejčastěji volíme délku předřadného vlákna 500 m nebo 1000 m [2].

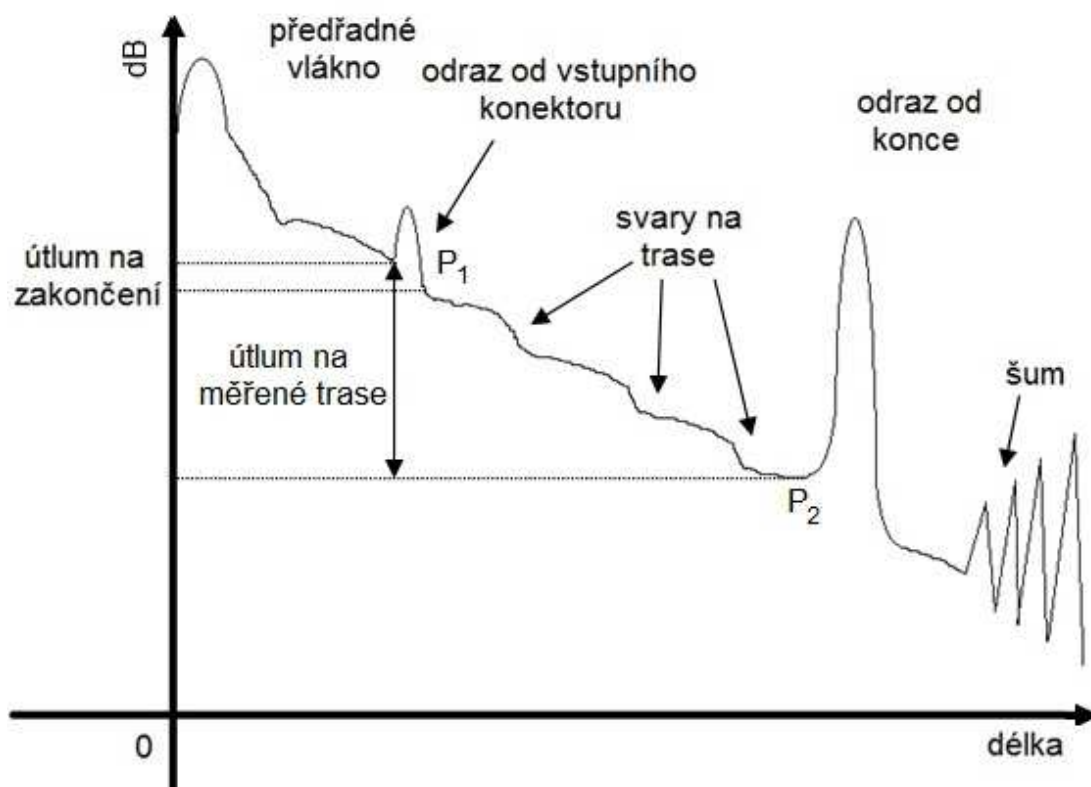


Obr. 3.6: Schéma měření útlumu metodou OTDR [2]

V přístroji je nutné nastavit určité parametry a ten následně zobrazuje průběh křivky zpětného rozptylu. Je vhodné si nastavit horizontální a vertikální měřítko tak, aby byla křivka zobrazena co nejefektivněji. První kurzor se umístí na spoj předřadného vlákna a měřené optické trasy. Další kurzory jsou umisťovány podle účelu měření, např. na konec optické trasy pro zjištění útlumu na celé trase. Měření se provádí i z druhého konce optické trasy a výsledky se průměrují. Touto procedurou získáme výsledek srovnatelný s hodnotou získanou pomocí transmisních metod. Útlum celé trasy je určen vzorcem (9) [2].

$$A(\lambda) = \frac{[(P_0 - P_1)_{\text{směr } A-B} + (P_0 - P_1)_{\text{směr } B-A}]}{2} \text{ [dB]} \quad (9)$$

Útlum pro optický výkon měřený v dB [2]



Obr. 3.7: Průběh měření útlumu vlákna metodou OTDR [2]

Křivka získaná touto metodou, zahrnuje kromě útlumu celé trasy i vstupní konektor, což je cenná informace. Příklad takové křivky je na obrázku 3.7. Měření metodou OTDR se provádí na obou vlnových délkách 1310 nm i 1550 nm, jelikož na délce 1550 nm se více projevují ztráty způsobené makro a mikroohyby na trase a jejich spojkách. Pokud se výsledky OTDR a transmisních metod rozcházejí, považují se výsledky transmisních metod za správné [2].

## **4. Svařování optických vláken**

### **4.1. Metody spojování optických vláken**

Jednotlivá optická vlákna se vyrábí v délkách řádu kilometrů a je nutné spojovat je buď svařováním elektrickým výbojem, pomocí různých spojek a konektorů, popř. lepením.

- Lepení optických vláken – Provádí se ve V drážce např. dvousložkovými epoxidovými lepidly, pokud není možné použití svářečky.
- Spojování optických vláken pomocí optických konektorů – pomocí konektorů se vlákna připojují především k dalším součástkám v optické trase.
- Svařování optických vláken elektrickým výbojem – nepoužívanější metoda spojování optických vláken

### **4.2. Princip svařování optických vláken**

Při svařování optických vláken je nutné mít oba konce vlákna rovně zaříznuté a zbavené případných nečistot. K rovnému řezu je používána lámačka optických vláken a čištění konce se provádí papírovým ubrouskem namočeným v lihu. Nejprve se speciálními kleštěmi odstraní obal z konce vlákna tak, aby zůstalo obnažené jádro o potřebné délce. Následně se konec vlákna očistí od zbytků obalu jádra a případných nečistot [2].

Takto připravené vlákno se umístí do V drážky v lámačce optických vláken, posuvem v drážce se nastaví požadovaná délka obnaženého jádra, vlákno se v lámačce zaaretuje, aby bylo zbráněno jeho posuvu, a nakonec je ostrým kotoučem v lámačce přeříznuto. Zaříznutý konec vlákna se z lámačky vyjme, může být opět očištěn, a je připraven na vložení do svářečky

optických vláken. Pokud by nebyly konce optických vláken takto upraveny, docházelo by ke zbytečnému navýšení útlumu sváru.

Umístění konce optického vlákna do svářečky probíhá podobně jako u lámačky optických vláken a to do V drážky. Svářečka disponuje dvěma drážkami pro jedno vlákno. Do té větší, s možností aretace, se vloží konec vlákna opatřený obalem, který je následně zafixován. Druhá V drážka je menší a pohyblivá, slouží k vedení obnaženého jádra vlákna. Po umístění obou konců do svářečky se může začít svařovat.

Chod zařízení je nastaven jedním z mnoha profilů, které jsou k dispozici, včetně upravitelných. Po spuštění procedury sváření, zařízení oba konce optických vláken proti sobě vycentruje a začistí případné nedostatky lomu krátkým, elektrickým výbojem. Svářečka optických vláken Fujikura FSM-45PM, která byla použita při měření této bakalářské práce, je odlišná od standardních a plně automatizovaných svářeček jak širokou škálou nejrozličnějších nastavení, tak i tím, že vlákno otáčí po jeho vlastní ose. Otáčené konce vláken jsou snímány CCD kamerou uvnitř svářečky, aby následně mohla vyhodnotit jejich nejvhodnější vzájemnou polohu proti sobě, za cílem dosažení co nejmenšího útlumu svaru. Po nalezení vhodné polohy, svářečka přiblíží oba konce optických vláken k sobě na nastavenou vzdálenost a svaří je k sobě elektrickým výbojem, který je také plně definovatelný.

Po skončení elektrického výboje se pomocí systému PAS zjistí vzájemná poloha jader a odhadne se útlum sváru. Posledním krokem je test tahem, kdy svářečka zlehka zatáhne obě stále ještě zafixované V drážky od sebe. Tím končí práce svářečky a vlákno opatřené svarem lze vyjmout [2].

#### **4.3. Měření útlumu na svaru**

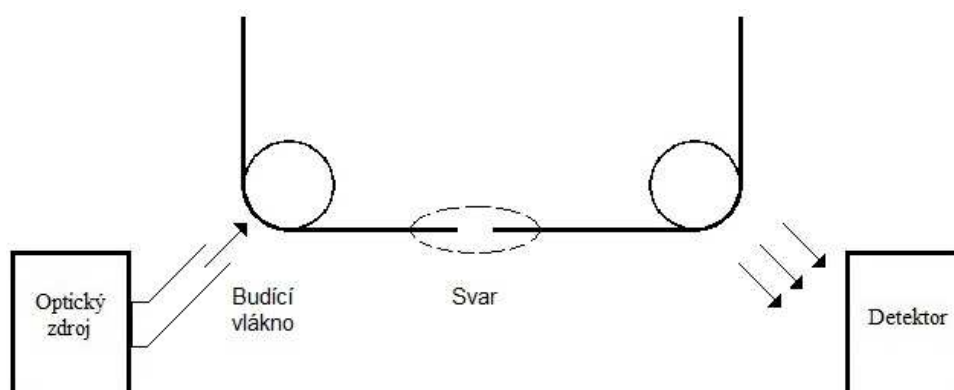
Útlum svaru je odhadnut svářečkou ihned po dokončení svaru. Jsou pro to tři metody používané různými výrobci. Pokud chceme měřit útlum svaru na optické trase, je nutné použít metodu zpětného rozptylu OTDR. Jedním z cílů této práce je opakované měření útlumu sváru, z toho důvodu bylo možné použít transmisní metody měření útlumu [2].

#### 4.3.1. Vyhodnocení útlumu sváru pomocí svářečky

Svářečky optických vláken využívají tři různé principy na vyhodnocení útlumu vlákna:

- LID (Local Injection and Detection)
- PAS (Profile Alignment System)
- RTC (Real Time Control)

**Systém vyhodnocování LID** je používán ve svářečkách Siemens neboli RXS, je schematicky zobrazen na obrázku 4.1. Svařovaná vlákna jsou prudce ohnuta před i za svarem. Před svarem je do místa ohybu navázáno optické záření, které je v druhém ohybu za svarem opět vyvázáno a změřeno. Útlum lze vypočítat podle vzorce (7), kde výkon  $P_0$  je změřen ještě před samotným svárem v době kdy jsou konce vláken vůči sobě ideálně postaveny a výkon  $P_1$  je změřený po svaření vláken. Hodnota  $P_0$  je velmi závislá na nečistotě svařovaných konců, či jiné nedokonalosti konců vláken [2].

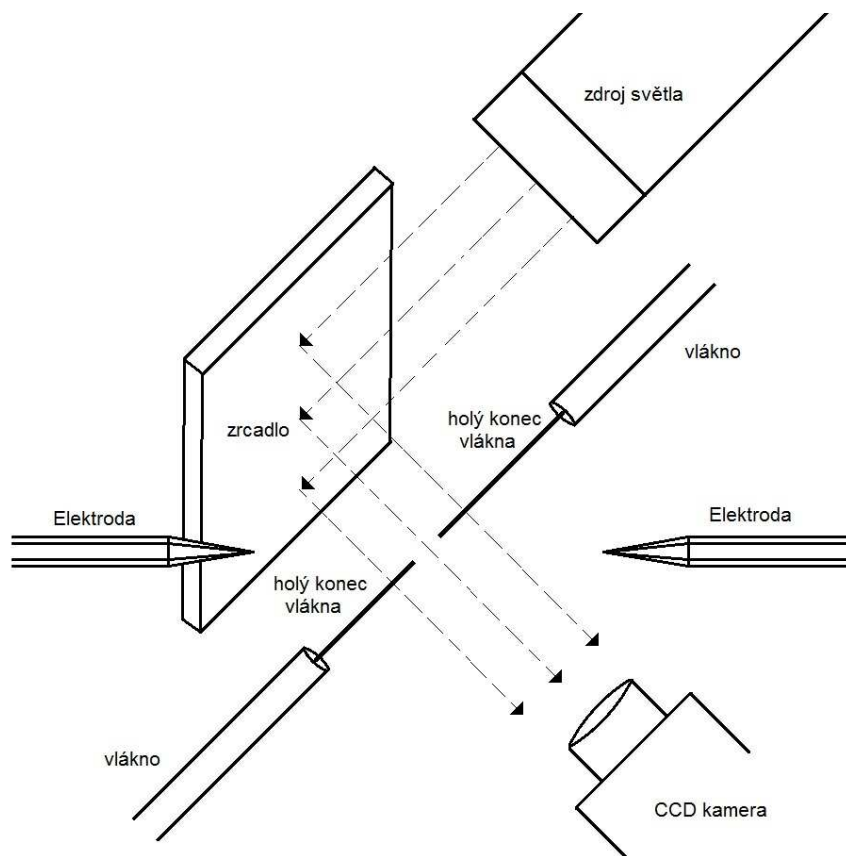


Obr. 4.1: Měření útlumu sváru metodou LID [2]

**Metodu vyhodnocování PAS** používá japonský výrobce Fujikura. Tento systém je použitý i ve svářečce Fujikura FSM-45PM, která sloužila k praktické části této bakalářské práce. Princip je



zobrazen na obrázku 4.2. Oba konce vláken jsou osvětlovány kolimovaným optickým svazkem ze zdroje záření. CCD kamera zabudovaná svářečce snímá dva obrazy hotového svaru ve dvou k sobě vzájemně kolmých pohledech. Následně je útlum vyhodnocen dle odchylek obou jader vůči sobě v obou pohledech [2].

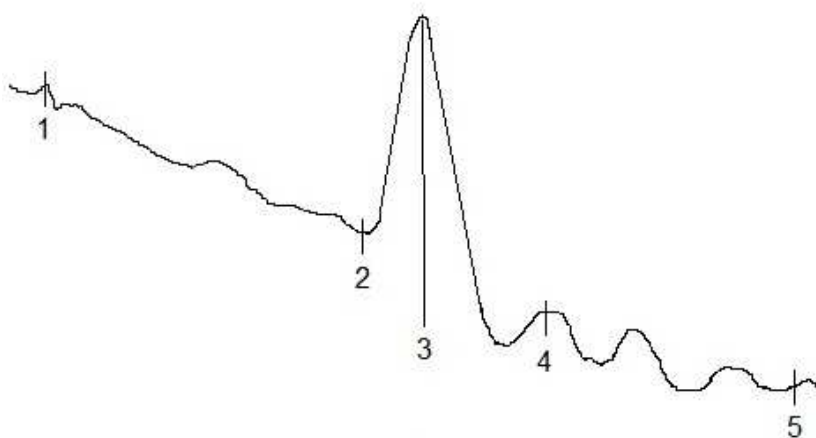


Obr. 4.2: Měření útlumu svaru metodou PAS [2]

**Metoda RTC** je používána ve svářečkách od firmy Ericsson a je založena na odlišném principu. Oba konce svařovaných vláken se krátkým svařovacím impulsem začnou zahřívat a vyzařované světlo je zachyceno a vyhodnoceno. Jádru a plášť jsou materiálově odlišné a tak obě části vyzařují rozdílné spektrum, podle kterého je v reálném čase vyhodnocována poloha jader vláken. Po svaření vláken je hodnota útlumu svaru zjištěna v posledním kroku kontroly [2].

#### 4.3.2. Metoda zpětného rozptylu (OTDR)

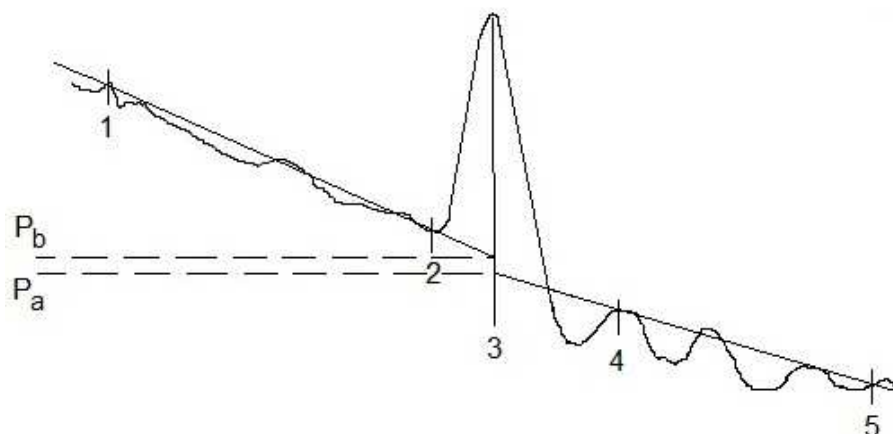
Průběžné měření útlumu během výstavby optické trasy je velmi užitečné, ale proveditelné pouze metodou OTDR. Pro měření útlumu svaru je velmi podobný postup jako při měření optické trasy. Nejprve je nutné nastavit určité parametry v přístroji, připravit si vhodné měřítko a pak se mohou umístit kurzory. Druhý a čtvrtý kurzor by mely být umístěny z obou stran co nejbližší předpokládanému svaru. Co nejdále od těchto kurzorů umístíme na lineární části křivky další kurzory – první a pátý. Třetím kurzorem je možné, ale ne povinné označit přesnou pozici svaru. Příklad takového nastavení kurzorů lze vidět na obrázku 4.3 [2].



Obr. 4.3: Měření útlumu svaru metodou OTDR [2]

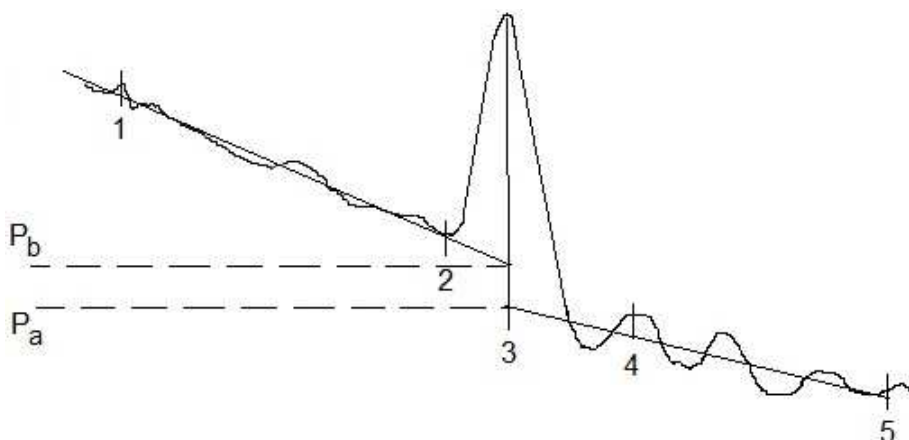
Měřič zpětného rozptylu následně aproximuje lineární část křivky mezi kurzory 1, 2 a 4, 5 a tyto části následně proloží přímkou. Používají se dvě metody aproximace. Na obrázcích 4.3, 4.4 a 4.5 je umístěn 4. kurzor ne zcela vhodně, aby byl patrný rozdíl v aproximační přímce u porovnání dvoubodové metody s metodou LSA [2].

- Dvoubodová metoda – aproximační přímka je proložena body, ve kterých jsou umístěny dvojice kurzorů. Nevhodným umístěním kurzorů se můžeme dopustit chyby měření útlumu, jelikož by proložená aproximační přímka nemusela odpovídat křivce průběhu OTDR. Příklad aproximace dvoubodovou metodou je zobrazen na obrázku 4.4 [2].



Obr. 4.4: Aproximace křivky OTDR dvoubodovou metodou [2]

- Metoda LSA – využívá k nalezení aproximační křivky metody nejmenších čtverců, kdy jsou jednotlivé nehomogenity na křivce OTDR do značné míry eliminovány. Průběh aproximace metodou LSA je naznačen na obrázku 4.5 [2].



Obr. 4.5: Aproximace křivky OTDR metodou LSA [2]

Pokud jsou dva svary blízko za sebou, je nutné při použití metody OTDR změřit útlum obou svárů zároveň. Moderní OTDR přístroje při měření útlumu automaticky označí svar čtveřicí pomocných kurzorů. I při měření útlumu svaru se snažíme o měření z obou stran optické trasy a to na obou vlnových délkách [2].

## 5. Výsledky měření

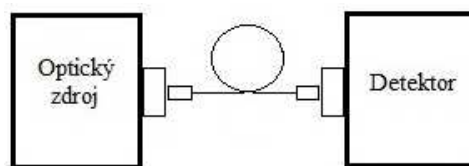
Cílem praktické části této bakalářské práce je zjistit ideální nastavení svářečky pro konkrétní typ standardního vlákna SMF-28e a vzorku atypického optického vlákna dodávaného z Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd tak, aby na výsledném sváru docházelo co k nejmenšímu možnému útlumu.

### 5.1. Postup měření

Postup pro zjištění ideálního nastavení je značně zdoluhavý, ale pro další práci s daným vzorkem atypického vlákna je to téměř nutné. Při měření byly používány transmisní metody. Při standardním nastavení svářečky jsou sváry použitelné, ale s vhodným nastavením se dá dosáhnout mnohem menšího útlumu. Je nutné nastavit svářečku a provést opakovaně sérii svarů a proměřit optický výkon procházející optickou soustavou. Toto se provádělo 10 x s jedním nastavením, abychom mohli brát výsledky jako věrohodné. Těchto 10 naměřených hodnot se zprůměruje a tím zjistíme průměrnou hodnotu optického výkonu, jenž projde optickou trasou včetně svaru při jednom konkrétním nastavení svářečky. Nastavení svářečky se upraví a provede se dalších 10 svarů, které se následně analyzují, atd. Tímto ale zjistíme pouze výkon procházející celou optickou trasou. Abychom zjistili útlum daného svaru, musíme změřit hodnotu referenčního výkonu  $P_0$  a zjistit k jakému útlumu dochází na jednotlivých cívkách s optickými vlákny.

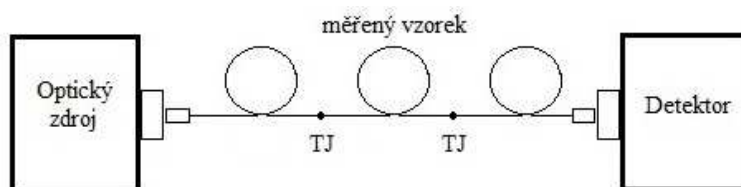
Pro získání referenčního výkonu  $P_0$  se provádí měření, kde se optický zdroj a měřič optického výkonu propojí optickým vláknem opatřeným příslušnými konektory. Měření referenčního výkonu  $P_0$  se provádí dle schématu na obrázku 5.1.





Obr. 5.1: Schéma měření referenčního výkonu  $P_0$

Druhým krokem je zjištění útlumu cívky s vláknem. K vnitřnímu konci cívky byl přivařen kus vlákna opatřený konektorem (Pigtail) a k vnějšímu konci byl připojen měřič pomocí montážního konektoru. Touto metodou se zjistí výkon přenášený přes cívku s optickým vláknem a následně se dle vzorce (7) vypočítá útlum na vlákně. Měřicí schéma je zobrazeno na obrázku 5.2.



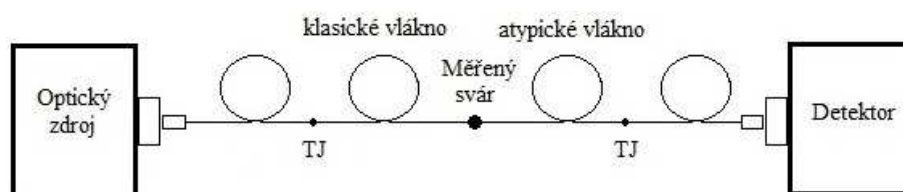
Obr. 5.2: Schéma měření výkonu procházejícího cívkou s optickým vláknem

Poslední částí měření je zjištění hodnoty optického výkonu procházejícího celou optickou trasou, kterou tvoří:

- optický zdroj
- cívka se standardním vláknem
- měřený svár
- cívka se vzorkem atypického vlákna
- měřič optického výkonu



Měření je schematicky zobrazeno na obrázku 5.3. Po zjištění hodnoty výkonu procházejícího optickou trasou, se dopočítá útlum celé trasy dle vzorce (7). Následně se dle vzorce (8) od útlumu celé optické trasy odečtou útlumy vznikající na jednotlivých cívkách, a tím dostaneme výslednou hodnotu útlumu daného svaru.



Obr. 5.3: Schéma měření výkonu procházejícího optickou trasou

## 5.2. Nastavení svářečky

Svářečka Fujikura FSM-45PM se ovládá pomocí jednoduché klávesnice.

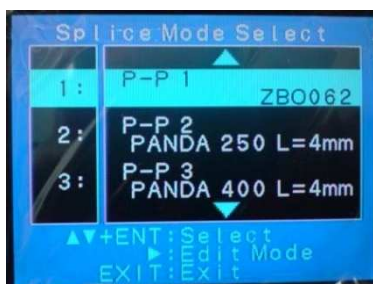
Tlačítkem MENU se dostaneme do hlavního menu




Tam se tlačítkem ENT otevře Splice Mode Menu, jenž nabízí upravitelné profily sváření.



Tlačítkem ENT se otevře nastavení označeného profilu



Na klávesnici se tlačítkem  posunují jednotlivé položky nastavení. Na stránce 6/12 se nastavovala položka GAP, což je vzdálenost dvou proti sobě ležících zalomených konců vláken.



Na stránce 8/12 se nastavoval Arc1 Power, což ovlivňuje úroveň síly svářecího výboje.



Poté co je svářečka nastavena, je možné spustit samotnou svářecí proceduru. Nejprve svářečka vycentruje konce vláken, čistící výboj začistí otřepy a jiné defekty na lomu a následně svářečka vlákna otáčí po jejich vlastní ose, jak je zobrazeno na obrázku vedle.





## 5.3. Tabulky s výsledky

### 5.3.1. Legenda k tabulkám s výsledky:

**GAP** – jedná se o vzdálenost dvou proti sobě ležících zalomených konců vláken. Možnost nastavení se pohybuje od 6  $\mu\text{m}$  do 50  $\mu\text{m}$ .

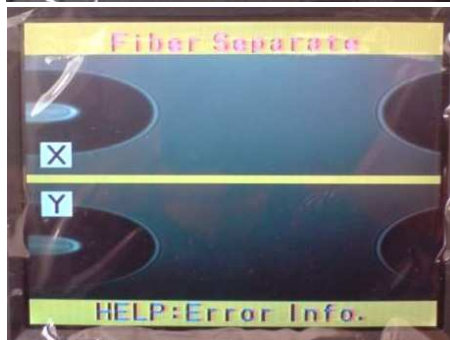
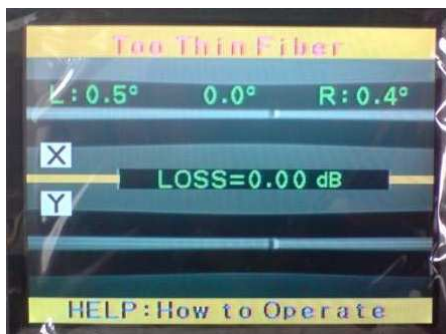
**ArcPwr** – tento atribut ovlivňuje úroveň síly svářecího výboje. Lze nastavovat od -100 bit do 250 bit.

**Arc Time** – tímto parametrem se ovlivňuje délka svářecího výboje. Jeho rozsah nastavení je 0 ms až 30000 ms – byl provedeno menší množství zkušebních svarů s nastavením 1500 ms a 3000 ms, ale svar se nejlépe choval při standardním nastavení 2000 ms. Z důvodů časové náročnosti, by ani nebylo reálné odměřit

**Bubble** – závada zapříčiněná bublinami v jádru optického vlákna. K této deformaci svaru dochází při nedostatečné úrovni svářecího výboje. Vypadá to jako by se jádra pouze slepila a nedošlo ke korektnímu svaru, čímž vznikají v oblasti spoje bublinky.

**Too Thin** – pokud je nastavena vysoká úroveň svářecího výboje, je pak vlákno v oblasti spoje ztenčené, CCD kamera tuto závadu zjistí a zahlásí obsluze.

**Separate** – tato chyba nastane, pokud je svářecí výboj nastaven na opravdu vysokou úroveň. Dojde k tomu, že se obnažená jádra v oblasti svaru se upálí, je to doprovázené slyšitelným škvařením materiálu.





**TT + B** – jedná se o současné hlášení chyb „Too Thin“ a „Bubble“. Tato situace nastala pouze tehdy, pokud vzdálenost dvou zlomů jader byla o velikosti 50  $\mu\text{m}$ .

### 5.3.2. Tabulky s výsledky

Výsledné zprůměrované hodnoty útlumu pro daná nastavení jsou uvedeny v příložených tabulkách 1 a 2. První řádek rozděluje sloupce tabulky podle vzdálenosti protilehlých zalomených vláken a první sloupec dělí řádky tabulky dle úrovně svářecího výboje.

Útlum sváru [dB] Arc Time = 2000ms, pro vlnovou délku 1310nm						
GAP [ $\mu\text{m}$ ]	6	10	15	20	30	50
ArcPwr [bit]						
-60	Bubble	Bubble	Bubble	Bubble	Bubble	TT + B
-50	Bubble	Bubble	Bubble	4,57	Bubble	TT + B
-40	Bubble	3,77	3,86	4,99	Bubble	TT + B
-30	3,55	3,61	5,11	4,02	Bubble	TT + B
-20	3,49	3,79	3,84	4,77	4,12	TT + B
-10	3,99	2,97	3,64	5,30	4,56	TT + B
0	4,50	2,79	4,52	5,37	3,76	TT + B
10	4,49	2,91	4,36	4,77	4,18	TT + B
20	3,51	2,91	3,77	4,69	4,05	TT + B
30	3,42	3,05	4,05	3,20	4,19	TT + B
40	3,18	2,96	3,10	4,71	3,98	Separate
45	3,44	3,22	3,58	4,52	4,17	Separate
50	3,39	2,69	3,19	3,77	4,11	Too Thin
55	3,35	2,30	2,95	4,77	3,64	Too Thin
60	2,43	2,21	2,95	2,72	2,86	Too Thin
65	2,32	1,81	2,46	2,02	1,94	Separate
70	2,68	2,16	2,96	4,09	3,45	Separate
75	2,89	1,85	3,13	Too Thin	Too Thin	Separate
80	0,83	1,73	3,23	Too Thin	Too Thin	Separate
90	Too Thin	Too Thin	Too Thin	Too Thin	Too Thin	Separate
100	Too Thin	Too Thin	Too Thin	Separate	Separate	Separate

Tabulka 1: Přehled útlumu svaru při vlnové délce 1310 nm

Útlum sváru [dB]

Arc Time = 2000ms, pro vlnovou délku 1550nm

GAP [μm]	6	10	15	20	30	50
ArcPwr [bit]						
-60	Bubble	Bubble	Bubble	Bubble	Bubble	TT + B
-50	Bubble	Bubble	Bubble	2,70	Bubble	TT + B
-40	Bubble	1,68	2,27	2,11	Bubble	TT + B
-30	2,37	1,91	2,88	3,34	Bubble	TT + B
-20	2,12	1,87	1,37	4,05	3,92	TT + B
-10	2,38	1,30	1,24	3,37	3,27	TT + B
0	3,52	0,93	1,60	2,48	2,86	TT + B
10	1,39	1,23	1,70	2,60	2,83	TT + B
20	1,55	1,13	1,70	1,33	2,89	TT + B
30	1,12	1,07	1,88	2,11	3,16	TT + B
40	0,67	1,52	1,74	3,88	2,98	Separate
45	1,09	0,75	0,92	2,00	2,31	Separate
50	0,95	0,71	0,98	2,36	3,47	Too Thin
55	1,25	0,74	1,48	2,93	3,29	Too Thin
60	0,48	0,65	1,23	1,73	3,37	Too Thin
65	0,63	0,18	0,79	1,45	1,63	Separate
70	0,88	0,45	1,32	1,75	3,15	Separate
75	0,50	0,49	1,05	Too Thin	Too Thin	Separate
80	0,14	1,15	1,30	Too Thin	Too Thin	Separate
90	Too Thin	Too Thin	Too Thin	Too Thin	Too Thin	Separate
100	Too Thin	Too Thin	Too Thin	Separate	Separate	Separate

Tabulka 2: Přehled útlumu svaru při vlnové délce 1550 nm

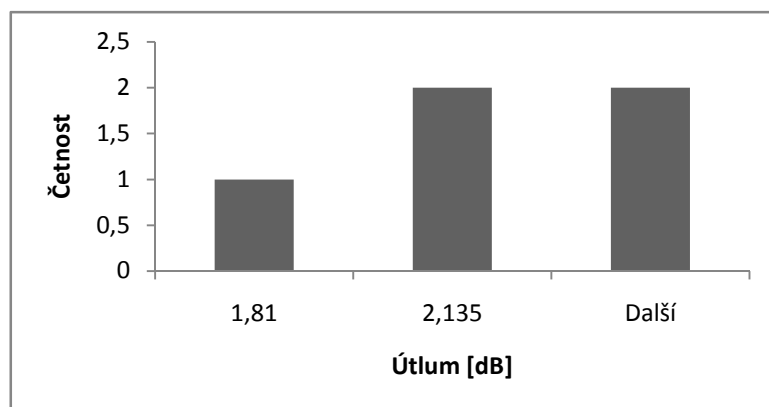
Pro obě vlnové délky bylo ideální nastavení svářečky shodné a to:

GAP – 10 μm

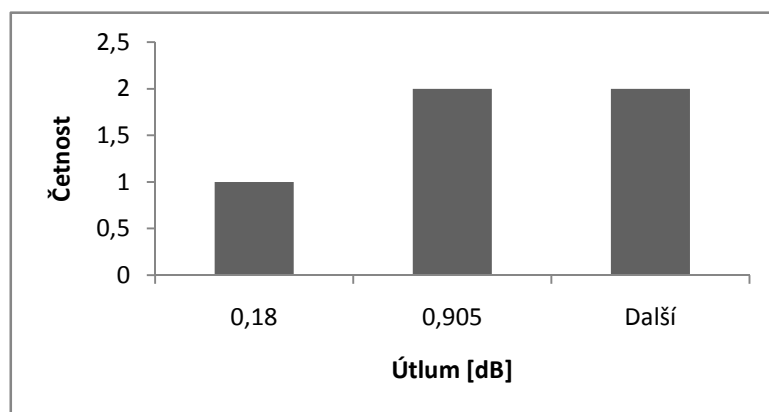
ArcPwr – 65 bit

### 5.3.3. Histogramy

Přiložené histogramy zobrazují četnost útlumů na jednotlivých vlnových délkách. Jsou zhotoveny z nejlepších hodnot (označeny zeleně) pro každý sloupec tabulek 1 a 2, tzn. 5 hodnot pro každou vlnovou délku.



Histogram 1: Pro vlnovou délku 1310 nm



Histogram 1: Pro vlnovou délku 1550 nm

## 6. Zhodnocení a závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit ideální nastavení svářečky Fujikura pro dosažení svaru s co nejmenším útlumem a to při spojování standardního vlákna SMF-28e a vzorku atypického vlákna, dodávaného z Ústavu fotoniky a elektroniky (ÚFE). Pro dosažení použitelných svarů s nízkým útlumem, musíme mít odpovídající vybavení a dále musíme znát správné nastavení svářečky. Standardní plně automatizovaná svářečka optických vláken by tuto operaci neodvedla pořádně, jelikož vzorek atypického vlákna, má jiné složení než obvyklé vlákno, a tak by svářečka se standardním svářecím profilem nedodala do výboje dostatečnou energii.

Hodnota této bakalářské práce je v tom, že sérií mnoha svárů a jejich následnou analýzou, jsem zjistil optimální nastavení svářečky pro zadaná optická vlákna. Zároveň jsem díky přehledným tabulkám ukázal, že nastavení svářečky má opravdu nemalý vliv na kvalitu výsledného svaru. Zařízení s takovou možností definování svářecího procesu určitě najde uplatnění při svařování atypických vláken popř. při nestandardních podmínkách.

Útlum svaru se na vlnové délce 1310 nm pohyboval kolem 2 db, nejlepší výsledný svar měl útlum o hodnotě 1,81 dB, což nedosahuje kvality běžně vyráběných svárů. Takový velký útlum bude z velké části zapříčiněn určením atypického vlákna, a to 850 nm a 1550 nm. Využití takového svaru je pro tuto vlnovou délku vcelku nevýhodné. Na vlnové délce 1550 nm se útlum svaru pohyboval v řádu desetin dB, a to je už velmi uspokojivé a použitelné v praxi. Nejlepší hodnota útlumu svaru byla 0,18 dB. Opravdu je zde znát rozdíl ve množství propuštěného světelného výkonu optickou trasou oproti vlnové délce 1310 nm.

Pro obě vlnové délky bylo nastavení svářečky stejné k dosažení ideálního svaru – vzdálenost zalomených konců protilehlých jader (GAP) je 10  $\mu\text{m}$  a úroveň svářecího výboje (ArcPwr) byla 65 bit.

V této oblasti je toho určitě ještě mnoho ke zkoušení a měření. To stejné měření útlumu svaru by se dalo provést v opačném směru, a to že optický zdroj by byl připojen na vzorek atypického vlákna a měřič optického signálu by byl připojen ke standardnímu typu vlákna. Během této bakalářské práce jsem ovlivňoval pouze vzdálenost dvou zalomených konců jader a úroveň výboje určeného ke svařování.

## Odkazy a literatura

[1] NOVOTNÝ, Karel. *Optická komunikační technika*. Vydání třetí. Praha : ČVUT, 2007. 148 s.

[2] KUCHARSKI, Maciej; DUBSKÝ, Pavel. *Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras*. Praha : Mikrokom, 1998. 141 s.

[3] VANDA, Jan. *Optoelektronika*. Ostrava, 2004. Výukový materiál. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.

[4] Optické vlákno In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 21. 6. 2006; 29. 4. 2010 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Optické\\_vlákno](http://cs.wikipedia.org/wiki/Optické_vlákno)>.

## Seznam příloh

Příloha I: Výsledky měření